

Revisión

Bioinsumos: componentes claves de una agricultura sostenible**Bio-products: key components of sustainable agriculture**A. Mamani de Marchese^{1*}; M.P. Filippone²

¹ Facultad de Agronomía y Zootecnia, Universidad Nacional de Tucumán. Avda. Kirchner 1900, (4000), San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina. *Email: al_mam@yahoo.com.ar

² ITANOA-CONICET, Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres. Tucumán, Argentina.

Resumen

La llamada Revolución verde que se inicia hacia los años '40, tuvo como consecuencia el gran aumento de la producción agrícola mundial, debido principalmente a la intensificación de las áreas cultivadas, al uso masivo de fertilizantes y pesticidas sintéticos, maquinarias pesadas y al avance tecnológico en riego. Este avance, sin embargo, tuvo consecuencias negativas, tales como la disminución de la biodiversidad, la aparición de plagas resistentes, desequilibrios en los agroecosistemas y efectos perjudiciales en el medio ambiente. Ante esto, la investigación se orientó hacia la agricultura sostenible, es decir, a una producción económica y socialmente aceptables y en armonía con el medio ambiente. Una alternativa para el manejo tradicional de los cultivos es el uso de bioinsumos. Estos productos de origen biológico tienen actividad pesticida, fertilizante o inductora de la defensa vegetal. En Argentina su uso se inicia en 1957, principalmente como biofertilizantes de origen microbiano destinados a la fijación de nitrógeno. En 2013, se forma el Comité Asesor en Bioinsumos de Uso Agropecuario (CABUA) que asesora sobre los aspectos técnicos de calidad, eficacia y bioseguridad que deben reunir los bioinsumos agropecuarios para su liberación al agroecosistema.

Palabras clave: Bioinsumos; Biopesticidas; Biofertilizantes; Agricultura sostenible.

Abstract

The so-called Green Revolution that began in the 1940s, resulted in a great increase in world agricultural production, due to the intensification of cultivated areas, the massive use of synthetic fertilizers and pesticides, heavy machinery and technological advances in irrigation. This advance, however, had negative consequences, such as the decrease of biodiversity, the appearance of resistant pests, imbalances in agroecosystems and harmful effects on the environment. Given this, the research was oriented towards sustainable agriculture, that is, to an economically and socially acceptable production and in harmony with the environment. An alternative to the traditional management of crops is the use of bio-products. These products of biological origin fulfill pesticide functions, fertilizers or inducers of plant defense. In Argentina its use began in 1957, mainly as biofertilizers of microbial origin intended for nitrogen fixation. In 2013, the Advisory Committee on Bio-products for Agricultural Use (CABUA) which advises on the technical aspects of quality, efficacy and biosecurity that agricultural bio-products must meet for their release into the agroecosystem, was formed.

Keywords: Bio-products; Biopesticides; Biofertilizers; Sustainable agriculture.

Revoluciones en la agricultura

La agricultura representa uno de los logros más importantes del ingenio del hombre, y de igual forma se puede decir que las especies vegetales cultivadas han originado al hombre contemporáneo. Aproximadamente el 90 % de las calorías y el 80 % de las proteínas de nuestra dieta son de origen vegetal. Además, los alimentos de origen animal, también dependen y derivan de los vegetales. La evolución de la agricultura desde sus orígenes hasta nuestros días, ha sido un proceso continuo, en el que se han producido tres momentos de cam-

bios rápidos y profundos (Figura 1), a los que se los ha considerado como “revolucionarios” (García Olmedo, 1998).

La primera revolución tuvo lugar en el neolítico en donde se consiguió la domesticación inicial de las principales especies vegetales que se cultivan en nuestros días. Si bien algunos autores no la consideran como una revolución por haber sido demasiado lenta, no niegan que fue radical.

La segunda revolución, que se inicia en los años '40 del siglo XX, incrementó la producción agrícola en todo el mundo y fue la llamada “Revolución Verde” término utilizado por primera vez hacia

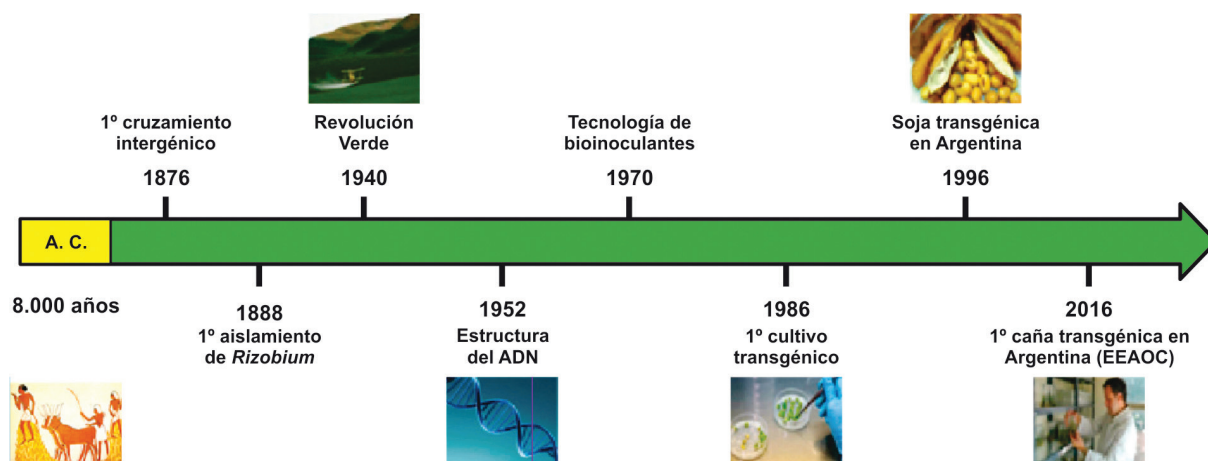


Figura 1. Principales eventos en la evolución de la agricultura.

1958 por William Gaud. Esta revolución implicó el desarrollo de variedades de alto rendimiento especialmente de los cereales, y el desarrollo de diferentes tecnologías como la expansión de la infraestructura de riego, la generación de semillas híbridas, el uso masivo de fertilizantes y pesticidas sintéticos y la utilización de maquinaria pesada. Los avances logrados en ese período, cambiaron la agricultura tradicional y las formas de explotación que existían hasta ese momento. A partir de 1960, el crecimiento mundial de los cereales dependió casi por completo de la intensificación agrícola, con poca expansión en el área cosechada. Inicialmente estas técnicas sólo se utilizaron para el maíz y principalmente en Estados Unidos, pero posteriormente se extendieron a otros cultivos y países, principalmente de Latinoamérica y Asia, que pasaron de sufrir hambrunas a convertirse en países exportadores. Un ejemplo de ello es lo que sucedió con el aumento del rendimiento del cultivo del trigo, el cual fue pionero en la utilización de todas estas técnicas y el que más rápido se extendió por todo el planeta (FAO, 1996).

Pero como todo cambio, la Revolución Verde también provocó problemas. Uno de ellos, fue la pérdida de gran parte de la biodiversidad agrícola (Foley *et al.*, 2005; Firbank *et al.*, 2008; Geiger *et al.*, 2010). La producción de variedades mejoradas de cultivos específicos causó el abandono de muchas variedades tradicionales y locales, que prácticamente desaparecieron. La agricultura moderna implica la simplificación de la estructura ambiental de grandes áreas, reemplazando la biodiversidad natural por un pequeño número de plantas cultivadas y animales domésticos. Las consecuencias de la reducción de la biodiversidad (Nastis *et al.*, 2013) son particularmente evidentes en el control

de plagas agrícolas (Altieri y Nicholls, 2007; Le-tourneau *et al.*, 2011). Una de las manifestaciones de la inestabilidad de los agroecosistemas es el incremento en la agresividad de las plagas y enfermedades, íntimamente ligado al monocultivo y al uso intensivo de agroquímicos. Además aumentó el uso de agua y la pérdida de las capas más superficiales y más fértiles del suelo. Es decir que el aumento de la producción obtenido por las nuevas tecnologías, fue posible con un alto costo para el medio ambiente (Relyea, 2005; Blann *et al.*, 2009; Foley *et al.*, 2011). Dentro de las consecuencias socioeconómicas de esta revolución, se encuentra la desaparición de una gran cantidad de pequeños y medianos productores. La implementación de las nuevas tecnologías implicó fuertes inversiones lo que impidió a los agricultores con menos recursos poder competir en este nuevo mercado. Surgió así la necesidad de buscar nuevas herramientas, más participativas, en las que el contexto biogeográfico, económico y social tuviera cabida (Vara-Sánchez y Cuéllar-Padilla, 2013).

Por último, la tercera revolución deriva de la aplicación del conjunto de tecnologías cuya base científica es la genética molecular y se desarrolló a partir del descubrimiento de la estructura del ADN por Watson y Crick en 1952. La biotecnología moderna se apoya básicamente en la puesta en práctica de la ingeniería genética (Benítez Burraco, 2005), la que permite modificar el genoma de un organismo para dotarlo de capacidades que no poseía, originando de este modo organismos genéticamente modificados (OGM) o transgénicos (Figura 1). La transgénesis permitió grandes logros en el mejoramiento de los cultivos y animales (Mazur *et al.*, 1999; Leibbrandt y Snyman, 2003; Niemann y Kues, 2003), obteniéndose plantas con caracterís-

Norman Borlaug y la Revolución Verde



Norman Borlaug (1914-2009), agrónomo, genetista, fitopatólogo y humanista, fue considerado como el “Padre de la Revolución Verde”. Su trabajo dio como resultado una nueva variedad de trigo que mostraba una magnífica adaptación a casi cualquier tipo de clima, altura y época de siembra, por lo que su inclusión en países con condiciones adversas logró solucionar el hambre de miles de familias. Por medio de híbridos y cruzamientos logró variedades de trigo resistentes a las royas (Kentana, Yaqui y Mayo) en México, lo que incrementó la producción hasta un 50 %, haciendo que

este país pasara de importador a exportador de este cereal. Un logro trascendental de sus investigaciones fue el desarrollo de variedades enanas de trigo, con alto rendimiento, amplia adaptación, resistentes a enfermedades y con altísima calidad industrial. El “trigo de Borlaug” se extendió por todo el mundo y mostró un rendimiento sin precedentes en países de todo tipo. Bangladesh, Pakistán, Turquía, China y Argentina llegaron a duplicar o triplicar su producción. Borlaug defendió siempre la necesidad de priorizar la agricultura y la ganadería sobre los demás sectores para acabar con el hambre. En 1970 le fue concedido el premio Nobel de la Paz.

ticas agronómicas mejoradas tal como resistencia a diferentes tipos de estrés o una mayor capacidad productiva. Esta tecnología permitió también la aparición de plantas como “biofábricas” (Jenkins *et al.*, 2011) capaces de producir moléculas con diferentes fines tales como industria, farmacéutica y la misma agricultura (Raskin *et al.*, 2002; Sticklen, 2008; Zhao y Shewry, 2011).

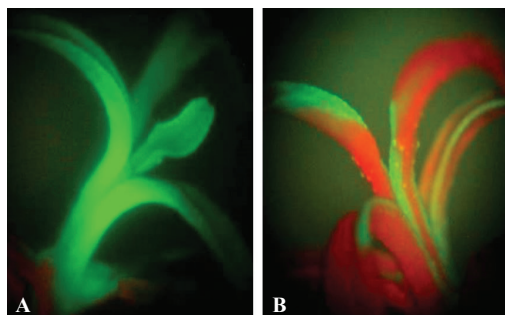
Los agroquímicos de síntesis

La Revolución Verde implicó el incremento del uso de sustancias químicas tanto para combatir plagas y enfermedades como para cubrir las necesidades nutricionales de la planta. Durante la Segunda Guerra Mundial, el descubrimiento de la acción insecticida del Dicloro-difenil-tricloroetano (DDT) y del Hexacloruro de benceno (lindano), permitió combatir insectos vectores de enfermedades que afectaban a las tropas aliadas (Hays, 2000). Posteriormente, su uso se extendió al combate de plagas agrícolas y del ganado, y años más tarde se generalizó en casi todos los países del mundo (Starbait Nudelman, 2011). Es así como los agroquímicos contribuyeron fuertemente a los grandes incrementos de la producción lo cual conllevó a un uso masivo de los mismos (Alvarez, 2003) y al desarrollo de nuevas moléculas. Esto último, determina que en la actualidad exista

una gran cantidad de compuestos insecticidas y otros pesticidas con características toxicológicas, físicas y químicas muy diversas (CASAFE, 2011).

Debido a que en general los efectos son más rápidos que otras formas de control y a que son fácilmente manejables, los agroquímicos constituyen un recurso fundamental contra las plagas y enfermedades. Desafortunadamente, la utilización de los pesticidas produjo fenómenos no previstos (Georgiou, 1990; Sparks y Nauen, 2015). La falta de especificidad de dichos productos afecta a organismos benéficos, como predadores naturales y polinizadores, por un efecto directo, o indirecto por alteración de su hábitat. La aplicación continua de plaguicidas ejerce además una presión de selección sobre las plagas favoreciendo la aparición de individuos resistentes, y obligando así al uso de dosis mayores. Igualmente el uso de agroquímicos constituye una de las fuentes de contaminación del medio ambiente poniendo en riesgo la salud del hombre y de los recursos genéticos de nuestro planeta (Rifkin, 2011; Villaamil Lepori *et al.*, 2013), además de que incrementan considerablemente los costos de producción. Los efectos detrimentales sobre la salud humana relacionados a la producción industrial de agroquímicos y a la forma de uso en las aplicaciones a campo, son los que revisten la mayor importancia. Los plaguicidas pueden contaminar los ríos, la capa freática,

Cultivos transgénicos



Detalle de un brote de *Citrus sinensis* transformado con el gen GFP, que codifica para la proteína fluorescente verde. **A.** brote totalmente transgénico, **B.** brote quimérico. Fuente: Laboratorio de Biotecnología, ITANOA (EEAOC-CONICET).

Desde los primeros cultivos transgénicos plantados en seis países en 1996, se ha pasado a cultivarlos en 28 países, alcanzando más de 181 millones de hectáreas. Aunque Estados Unidos sigue siendo líder en este campo, hoy en día se siembran mayores extensiones en países en vía de desarrollo que en desarrollados.

Actualmente se cultivan comercialmente 27 cultivos transgénicos: alimentarios (soja, maíz, arroz, trigo, papa, tomate, remolacha, judías, endivia, berenjena, calabaza, papaya, melón, ciruelo y caña de azúcar), forrajeros (alfalfa y *Agrostis*), textiles (algodón y lino), oleaginosos (colza), flores (clavel, petunia y rosa) y otros como pimienta dulce y tabaco. Argentina es el tercer productor mundial de cultivos transgénicos, después de Estados Unidos y Brasil, con 24,9 millones de hectáreas en 2016, lo cual representa el 13 % de la superficie global de transgénicos. La tasa de adopción de cultivos transgénicos es una de las más altas en cuanto a adopción de nuevas tecnologías en el sector agropecuario argentino, y supera inclusive a la observada con la incorporación de los híbridos en el cultivo de maíz. Esto indica que esta tecnología provee numerosos beneficios, tal como mayor flexibilidad en el manejo de los cultivos, disminución en el empleo de insecticidas, mayor rendimiento y mejor calidad de la producción, lo que conlleva a la reducción de los costos económicos, sanitarios y ambientales. La FAO estima que por efecto del cambio climático, para el 2050 la disminución en la productividad agrícola será del 9 al 12 % de las cosechas. El uso de especies transgénicas en la agricultura con mayor resistencia a climas adversos, suelos secos y salinos podrían representar una solución al problema de reducción en las cosechas. En la campaña 2016/17, prácticamente el 100 % de la superficie de soja, maíz y de algodón fue sembrada con variedades transgénicas.

el aire, el suelo y los alimentos (Ruepert *et al.*, 2005; Hernández González *et al.*, 2007; Aparicio *et al.*, 2015). Otro problema que generan es el daño a otros cultivos en donde las pérdidas por efecto “deriva” pueden ser importantes. Aunque el consumo de los agroquímicos se incrementó en forma continua desde sus inicios, actualmente en los países desarrollados hay una ligera tendencia a la reducción del uso de los mismos y una inclinación hacia la agricultura integrada y ecológica. No obstante esto, el uso de agroquímicos sigue siendo elevado en muchos países (Sarandón, 2002).

En Argentina, el mercado de agroquímicos muestra una evolución creciente y sostenida. En 1991 se utilizaron 100 millones de litros de productos químicos, mientras que en 2012 se aplicaron 317 millones de litros. La producción de soja acaparó casi el 62 % del total de los productos aplicados (Zarrilli, 2008) (Figura 2). Llamativamente, el aumento en el uso de agroquímicos no se acompaña de aumentos proporcionales de las superficie cultivada ni de la producción, (Figura 3).

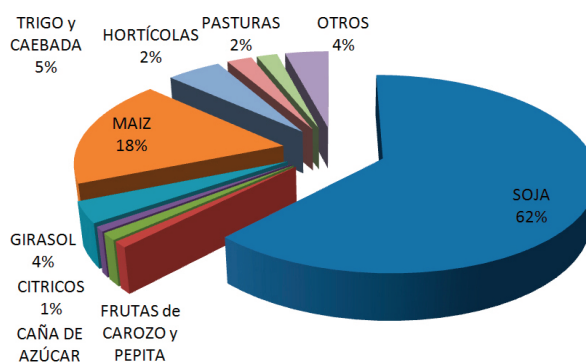


Figura 2. Distribución del uso de agroquímicos en diferentes cultivos en Argentina.

Alternativas sustentables para el manejo agronómico de los cultivos

La problemática relacionada con el uso de los plaguicidas es compleja y dinámica, e incluye varios actores con distintos intereses y posturas. En el año 2009, dada la creciente preocupación por la extensión en la aplicación de glifosato, y en particular por las denuncias sobre intoxicaciones en la

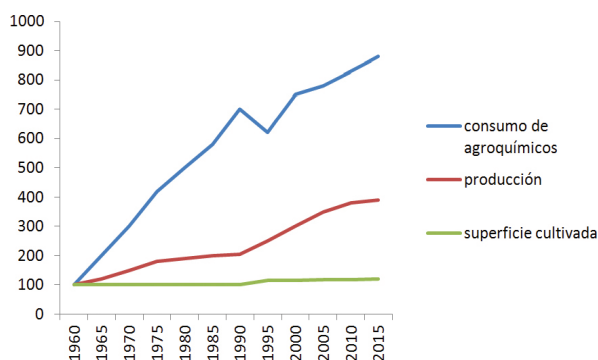


Figura 3. Evolución del consumo mundial de agroquímicos de síntesis (millones de litros), de la producción de cereales (millones de toneladas) y de la superficie (millones de ha) destinada a su cultivo desde 1960 hasta 2015.

localidad Cordobesa de Ituzaingó, se creó la Comisión Nacional de Investigaciones sobre Agroquímicos (CNIA). Uno de los puntos más débiles de la legislación son los mecanismos de control, ya que en muchos casos los problemas se producen por el uso de sustancias autorizadas, pero de maneras no previstas por las regulaciones. En este sentido es importante concientizar e incentivar a los productores a implementar un sistema de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) apuntando a prevenir “malas” aplicaciones que inciden negativamente en cultivos vecinos y en la población rural. Asimismo, resulta necesario generar iniciativas tendientes a cambiar el modelo vigente, poniendo en práctica medidas que faciliten la transición hacia sistemas productivos sostenibles. Las empresas deberán generar no sólo productos de menor impacto, sino ponerlos al alcance de los agricultores, con el compromiso de asegurar un correcto uso y manejo de los mismos a través de capacitación y monitoreo. A ello se suma la necesidad de contar con una regulación lo suficientemente rígida para proteger la salud de las personas y el medioambiente, sin afectar la producción agrícola y el nivel de actividad económica.

Ante los múltiples factores negativos de la agricultura convencional, emerge la concepción de la agricultura sostenible que promueve la producción agrícola apoyada en la conservación de los recursos naturales elementales tales como el suelo, el agua y la biodiversidad (Badgley *et al.*, 2007; Barg Venturini y Queirós Armand Ugóncol, 2007). Acorde con esto, los mercados importadores de frutas y productos frescos o industrializados en general, han incrementado sus exigencias respecto a los niveles de residuos de agroquímicos, lo que demanda controles y estrategias de producción adecuadas.

Bioinsumos

Una alternativa que tiene cada vez mayor participación en el esquema de manejo de los cultivos, complementando al manejo convencional, es el uso de bioinsumos (biofertilizantes, bioestimuladores y bioplaguicidas), ya que representan opciones económicamente atractivas y ecológicamente aceptables. Un bioinsumo es un producto basado en compuestos y/o extractos de microorganismos o plantas, o de microorganismos vivos, capaces de mejorar la productividad (o rendimiento), calidad y/o sanidad al aplicarlos sobre cultivos vegetales, sin generar impactos negativos en el agroecosistema (Gerwick y Sparks, 2014; Dayan y Duke, 2014; Duke, 2018). En el desarrollo de un bioinsumo se utilizan estrategias que surgen del estudio y caracterización de lo que sucede en las distintas interacciones de las plantas con su entorno. La idea es buscar en la propia naturaleza, donde existe una gran cantidad de productos y de estrategias que pueden utilizarse para el manejo sostenible de plagas y enfermedades de las plantas. Esta afirmación se basa en la premisa de que todos los organismos vivos están dotados de un sistema de defensa, que en general tiene la característica de ser de amplio espectro, y de mecanismos y/o compuestos que producen efectos sobre la fisiología de sí mismos o de otros organismos (Wiesel *et al.*, 2014; Pérez Ortega *et al.*, 2015).

Los bioinsumos actuales tienen sus orígenes en los “biopreparados” que se desarrollaron a lo largo de la historia a partir de la observación empírica de los procesos y efectos que tenían dichos productos. Por este motivo, la mayor parte de los “biopreparados” no tienen un autor definido y, en muchos casos, ni siquiera se conoce con precisión la ciudad o el país de origen. En los últimos años, estos procesos de observación que realizaron principalmente los agricultores, comenzaron a interesar a los investigadores, empresas e instituciones gubernamentales que plantearon su uso extensivo y comercial para la agricultura de pequeña y gran escala.

Los bioinsumos pueden ser clasificados desde distintos puntos de vista. Así por ejemplo en cuanto a su origen, pueden ser bioinsumos de origen vegetal o microbianos; y en cuanto a su efecto sobre la planta, pueden ser clasificados en dos grandes grupos: biofertilizantes y biopesticidas. Asimismo, en estas categorías se pueden identificar subcategorías, como por ejemplo, dentro de los

biofertilizantes se distinguen los bioestimulantes del crecimiento, inoculantes microbianos, bioestabilizadores, incluyendo también en este grupo a los abonos orgánicos, humus y guano. Dentro de los biopesticidas se distinguen los microbiocidas, los bioinductores de la defensa vegetal contra plagas y enfermedades y los biorepelentes. Aunque a los fines prácticos podemos aceptar esta clasificación, esto no implica que un bioinsumo incluido dentro de algunas de estas categorías pueda tener más de un efecto, como por ejemplo ser capaz de inducir el crecimiento, pero también de incrementar las defensas innatas de la planta contra factores bióticos o abióticos. Otros bioinsumos, que no tienen aplicación directa en la agricultura, se usan por ejemplo en el tratamiento de residuos orgánicos, el tratamiento de aguas servidas, la salud humana y la sanidad animal (Christeson y Sims, 2011; Logan y Rabaey, 2012).

Biofertilizantes

Por definición un fertilizante es todo lo que “nutre” o “alimenta” a la planta (o al suelo), es decir un “abono”. Existen abonos de origen orgánico (estiércol, camas de animales, abonos verdes, entre otros). Estos contienen diferentes principios activos, desde sales minerales, aminoácidos libres, quelatos orgánicos naturales, lignosulfonatos, ácidos húmicos y fúlvicos, hormonas, e inclusive microorganismos. Existen numerosos trabajos científicos que documentan su acción positiva sobre la fisiología de la planta, acelerando el desarrollo e incrementando la productividad y calidad, como así también la resistencia propia de la planta frente a condiciones adversas y patógenos (Reynders y Vlassa, 1982; Holopainen, 2004; Travers-Martin y Müller, 2008; Baset Mia y Shamsuddin, 2010; Heil y Karban, 2010; Perelló y Dal Bello, 2011; Ludwig-Müller, 2015).

Los extractos derivados de estiércoles compostados o lombricompostos son los fertilizantes foliares más usados por su alto contenido en aminoácidos libres o ácidos húmicos y fúlvicos. Algunos los realizan los propios productores pero también existen muchas empresas que los fabrican.

Las algas de mar por ejemplo tienen distintas constituciones fitoquímicas, con comprobados efectos bioestimulantes sobre las plantas superiores. Durante siglos los agricultores utilizaron algas marinas como abono, aplicado en forma directa o compostada. En la actualidad las formula-

ciones más frecuentes y con mayores perspectivas de aplicación son los extractos líquidos de algas. Su valor radica en la disponibilidad de micronutrientes como Cu, Fe, Mn, Mg y Ca acomplexados con ácido algínico, y fundamentalmente en el efecto promotor del crecimiento por acción de fitoactivos de tipo hormonas como auxinas, giberelinas, citocininas, betaínas, ácido glutámico, y el contenido de polisacáridos complejos de efectos bioestimulantes sobre las plantas superiores (Tripathi *et al.*, 2008). También se incluyen en este grupo a los microorganismos promotores del crecimiento como hongos micorrízicos y rizobacterias promotoras del crecimiento, conocidas como PGPR por sus iniciales en inglés “Plant Growth Promoting Rhizobacteria” (Kloepper *et al.*, 1980), los cuales viven asociados o en simbiosis con las plantas y ayudan a su proceso natural de nutrición. Estos microorganismos son además regeneradores de suelo. La mayoría de las bacterias PGPR pertenecen a los géneros *Acinetobacter*, *Agrobacterium*, *Arthobacter*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Burkholderia*, *Bradyrhizobium*, *Rhizobium*, *Frankia*, *Serratia*, *Thiobacillus*, *Pseudomonas* y *Bacillus* (Glick, 1995; Vessey, 2003; Lugtenberg y Kamilova, 2009). La promoción del crecimiento en las plantas inoculadas con estos microorganismos ocurre por varios factores como por ejemplo, la síntesis de sustancias reguladoras de crecimiento las cuales estimulan la densidad y longitud de las raíces, lo que incrementa a su vez la capacidad de absorción de agua y nutrientes y permiten que las plantas sean más vigorosas, productivas y tolerantes a condiciones climáticas adversas. Algunas bacterias como las del género *Pseudomonas*, tienen la capacidad de solubilizar algunos nutrientes poco móviles del suelo, como el fósforo o el zinc, poniéndolo a disponibilidad de la planta. Otras especies de los géneros *Rhizobium* y *Bradyrhizobium*, aumentan el aporte de nitrógeno por medio del proceso de fijación biológica (Cuadrado *et al.*, 2009). También los microorganismos benéficos pueden tener un efecto antagónico directo contra los perjudiciales, mejorando directamente la sanidad vegetal e indirectamente produciendo un mayor crecimiento y desarrollo. Las vías de control que ejercen estos organismos, se da a través de diversos mecanismos de defensa que involucran la producción de compuestos bacterianos, como sideróforos, ácido cianhídrico (HCN) y antibióticos. Además, en la íntima comunicación planta-microorganismo, en donde se producen e

intercambian una gran diversidad de moléculas, se generan compuestos que inducen los propios mecanismos de defensa de las plantas que hace que puedan tolerar el ataque de diversos enemigos (Riveros Angarita, 2001; Grennan, 2006; Shizuo *et al.*, 2006; Ramírez Gómez y Rodríguez, 2008; Luna *et al.*, 2011; Couto y Zipfel, 2016).

Biopesticidas

Existen diversas definiciones para biopesticidas o bioplaguicidas. Aunque el término “biológico” proporciona el contexto para el término bioplaguicida, la mayoría de las definiciones utilizadas internacionalmente están ligadas a atributos requeridos para el registro en cada país. Así por ejemplo, la Unión Europea considera bioplaguicidas a aquellos basados en microorganismos o en productos naturales, mientras que la “Environmental Protection Agency” (EPA) en Estados Unidos, incluye además a las plantas que incorporan material genético añadido, es decir OGMs o sus productos de expresión. La definición de la FAO identifica también los modos de acción únicos de los agentes, y enfatiza en la falta de toxicidad directa. Los bioplaguicidas comercialmente disponibles caen dentro del margen descrito por la FAO. Así el Manual de Bioplaguicidas (Copping, 2001) incluye microorganismos, productos naturales, macroorganismos, semioquímicos y genes. En un sentido práctico, los bioplaguicidas han sido reconocidos por sus fuentes y modos de acción.

Aunque pueda parecer que la tecnología de bioplaguicidas es nueva, sus bases se asientan en los métodos tradicionales de protección de los cultivos como los suelos supresivos, la rotación, la solarización, o el uso de enmiendas orgánicas o extractos de origen biológico. En muchos casos, se trata de una potenciación directa o indirecta del desarrollo de microorganismos beneficiosos en el entorno de la planta que ejercen un control biológico de plagas y enfermedades. Con los conocimientos actuales los bioplaguicidas se pueden agrupar en productos fitosanitarios de naturaleza microbiana, generalmente con acción directa sobre el patógeno, y en productos de acción indirecta, que en ciertos casos actúan como barrera o estimulan mecanismos de defensa propios de la planta. Estos últimos incluyen los que se denominan como bioestimulantes o bionductores de la defensa vegetal (Buss y Park-Brown, 2002; Isman, 2006; Gupta y Dikshit, 2010; Mazid, 2011; Sharma y Malik,

2012; Gašić y Tanović, 2013; Ondarza, 2017).

En el caso de los de origen microbiano, como hongos y bacterias, sus múltiples modos de acción permiten a estos microbios bloquear, ingerir o restringir el crecimiento y desarrollo de plagas y enfermedades. Debido a las numerosas maneras en que actúan hongos y bacterias, es difícil que se desarrolle resistencia a lo largo de muchas generaciones. Determinadas especies de hongos del género *Trichoderma* pueden crecer sobre las raíces y controlar a patógenos que producen pudrición de raíces (competencia de la rizosfera) (Barto *et al.*, 2011; Pirlak y Köse, 2009). Dentro de los bioplaguicidas se incluyen también aquellos compuestos que tienen un efecto directo sobre el organismo atacante, por un efecto antimicrobiano, insecticida, o nematocida. Algunas PGPR, especialmente las especies de los géneros *Bacillus* y *Pseudomonas*, producen una amplia variedad de compuestos antibacterianos y antifúngicos, como por ejemplo las subtilisin de *Bacillus* sp., de origen ribosómico, y otros antimicrobianos no ribosómicos como bacilisina, cloroteína, micobacilina, rizotocinas y lipopéptidos (Maget-Dana y Peypoux, 1994; Lelclère *et al.*, 2005; Mandryk, 2007).

Los inductores de la defensa vegetal ejercen su acción en forma indirecta sobre el patógeno provocando que la planta incremente sus barreras de defensa físicas y/o químicas. Esto se basa en la capacidad inductora de ciertas moléculas que pueden provenir de otras plantas, de microorganismos, o de la misma planta como resultado de la interacción de éstas con su entorno. Así por ejemplo, la interacción de la planta con los microorganismos, ya sean patógenos o no patógenos, inicia una serie de complejos procesos de señalización, los cuales originan respuestas características a nivel celular, tisular y de órganos vegetales, que se traducen en diferentes mecanismos de defensa, que incluyen en ciertas ocasiones la muerte celular por reacción hipersensible, la acumulación de metabolitos secundarios con función antimicrobiana, la acumulación de enzimas y la deposición de sustancias de refuerzo mecánico que evitan el avance del patógeno (Dixon, 2001; Itirri y Faoro, 2009; Thakker *et al.*, 2011; Chalfoun *et al.*, 2011; Mishra *et al.*, 2011; Voigt, 2014).

Las plantas también poseen compuestos inductores de la defensa vegetal y biopesticidas, los cuales pueden ser de diferente naturaleza química: péptidos, polisacáridos y una gran diversidad de metabolitos secundarios, tales como alcaloides,

esteroides, terpenoides y fenoles. Las fitoanticipinas y fitoalexinas, son metabolitos secundarios antimicrobianos que están presentes en la planta o que se inducen después del ataque de un patógeno, respectivamente (Osbourn, 1996). En general son de baja toxicidad para los vertebrados y si bien se degradan rápidamente, son muy efectivos para controlar diversas plagas y patógenos (Filippone *et al.*, 1999, 2001; Mamani *et al.*, 2012). Los biopesticidas vegetales se pueden obtener de cualquier órgano, como flores, raíces, tallos, hojas o de la planta entera en forma de macerado, infusión o polvo (Paulert *et al.*, 2009; Von Rad *et al.*, 2005; Meena *et al.*, 2013). Una ventaja de estos productos es la baja inversión necesaria para producirlos y la posibilidad de obtenerlos por procesos sencillos que no requieren gran infraestructura. Algunos aspectos que deben considerarse para este tipo de productos son: la escasa información existente sobre pruebas toxicológicas, la variabilidad en la cantidad del ingrediente activo y, en algunos casos, la baja estabilidad de los extractos (Zaker, 2016; Shuping y Eloff, 2017; Llorens *et al.*, 2017).

Mercado nacional e internacional de los bioinsumos

La agricultura sostenible como pilar de las estrategias actuales propone reducir el uso de agroquímicos, complementándolos con la aplicación de productos de origen biológico cuya producción dependa de fuentes renovables de materia prima y energía.

A pesar de que Brasil es uno de los principales países consumidores de agroquímicos, el número de bioinsumos ya registrados o en etapa de registro ha aumentado considerablemente en este país. Por ejemplo entre los años 2011 al 2013 el número de biopesticidas registrados aumentó 92,6 %. A pesar de ello, la producción nacional no ha sido capaz de atender al crecimiento de la demanda por biofertilizantes, y aproximadamente el 70 % de la misma es cubierta por las importaciones (Bettiol *et al.*, 2014). Por su parte, Cuba se destaca como uno de los grandes impulsores del desarrollo de bioinsumos agropecuarios desde los años '90, y tuvo un marcado incentivo en el 2002. Posee en el mercado bioestimuladores, biopesticidas y biofertilizantes registrados, y muchos otros bioinsumos en etapa de registro que ya se están ensayando a campo (Castillo, 2007). El crecimiento en el uso y comercialización de bioinsumos también se ob-

servó en Chile, donde existen unas 70 empresas que comercializan bioinsumos agrícolas, de las cuales 35 producen bioinsumos propios y el resto los importan (Martínez, 2016). Muchos otros países también están utilizando, desarrollando y comercializando bioinsumos agrícolas, tales como Estados Unidos, Canadá, India y Colombia, entre otros.

En la Argentina, la historia de los bioinsumos comienza en el año 1957 con los biofertilizantes formulados en base a microorganismos simbióticos destinados para el cultivo de leguminosas (principalmente soja) que se importaban especialmente de EEUU. El impulso a la producción nacional de biofertilizantes lo dio el desarrollo y continua expansión del cultivo de la soja junto con las informaciones que indicaban los beneficios económicos y ecológicos de la inoculación de las semillas con bacterias fijadoras de nitrógeno. Esta demanda por biofertilizantes determinó, a su vez, la institucionalización de los desarrollos bio-industriales en las universidades y organismos públicos de ciencia y tecnología. El mercado de los inoculantes para leguminosas se compone de una demanda local y regional con un marcado crecimiento, tanto por el aumento de las hectáreas sembradas con soja, como por el aumento de hectáreas inoculadas. Existe una demanda de productos biológicos que contemplen las especificidades locales y la potencialidad productiva que ha tomado la región, lo que ha hecho que las empresas radicadas en la región dispongan de ventajas competitivas con respecto a otros productores provenientes del exterior (Corvalán, 2007). Los biofertilizantes de origen microbianos destinados específicamente a la fijación de nitrógeno, dominan el mercado de los bioinsumos en Argentina. Gracias a la tecnología nacional para producir inoculantes de alta calidad, el país no necesita importar estos productos. El negocio, que involucra unos 75 millones de dólares a escala nacional, es apenas una muestra del potencial que representan los insumos biotecnológicos aplicados en el sector agropecuario. Si bien los bioinoculantes dominan el mercado local, también existen otros productos de origen biológico que cada vez ganan más terreno dentro de un nicho en expansión, destacados por sus beneficios productivos, ambientales y de mayor efectividad.

En cuanto a las empresas de bioinsumos, en los últimos años han surgido numerosos emprendimientos que ofrecen una diversa cartera de productos. Entre las que dominan el mercado, se en-

cuentra *Rizobacter SA*, con 41 años de trayectoria, la cual comparte el 60 % del mercado nacional de bioinsumos junto con otras, como Nitragin, Laboratorios CKC Argentina, Stoller Argentina, Nova, etc. (Anlló *et al.*, 2011). El resto está ocupado por pequeñas y medianas empresas (PyMES) que tienen incidencia local y una menor tecnificación, pero aun así permiten que el 40 % del mercado de inoculantes de Brasil esté representado por productos biotecnológicos argentinos.

Debido a que el desarrollo de biosinsumos constituye una demanda social y se ha transformado en una pieza fundamental en la nueva agricultura, diferentes instituciones nacionales también se han incorporado en la investigación y desarrollo de bioinsumos para diversas aplicaciones, originándose además una fuerte interacción con el sector privado. Así por ejemplo, entre algunos de los bioinsumos de producción nacional figura un bioinsecticida y el primer biofungicida nacional, creado mediante un convenio de articulación entre el INTA y la empresa de *Rizobacter* (Formento, 2014). La Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) trabaja en investigación y desarrollo de bioinsumos desde hace más de 15 años. En colaboración con otras instituciones como el CONICET, la Universidad Nacional de Tucumán (UNT), y una empresa privada argentina, ha desarrollado a partir de una proteína aislada de un hongo patógeno de plantas, un producto que actúa como una “vacuna vegetal” induciendo las defensas de la planta contra fitopatógenos, sin generar daños en los cultivos ni en el ambiente (Chalfoun *et al.*, 2011).

Aspectos regulatorios de los bioinsumos agropecuarios en la Argentina

En el año 2013, el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación (MAGyP) creó (Resol. SAGyP 7/2013) el Comité Asesor en Bioinsumos de Uso Agropecuario (CABUA) que define los bioinsumos agropecuarios como “todo producto biológico que consista o haya sido producido por micro/macro organismos, artrópodos o extractos de plantas, y que esté destinado a ser aplicado como insumo en la producción agroalimentaria, agroindustrial, agroenergética y en el saneamiento ambiental”. Específicamente, hace referencia a “biofertilizantes capaces de poner a disposición de los cultivos nutrientes ya sea por solubilización, movilización o fijación de estos;

fitoestimulantes o fitorreguladores; biocontroladores y biofitosanitarios (ya sean de origen fúngico, viral, bacteriano, vegetal o animal, o derivados de estos); biorremediadores o reductores del impacto ambiental y los destinados a la producción de bioenergía”.

El CABUA, en el ámbito de la Comisión Nacional Asesora de Biotecnología Agropecuaria (CONABIA), asesora sobre los requisitos técnicos de calidad, eficacia y bioseguridad que deben reunir los bioinsumos agropecuarios para su liberación al agroecosistema. Sin embargo, es el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA), particularmente, la Dirección de Agroquímicos y Biológicos, la autoridad de aplicación que los inscribe, aprueba y registra para su utilización.

Debido a que aún no se cuenta con normativa específica para el registro y comercialización de bioinsumos que actúen como fitosanitarios, éstos se inscriben en el Registro Nacional de Terapéutica Vegetal (Decreto MAgG 3489/58 y 5769/59), según el Manual de Procedimientos, Criterios y Alcances para el Registro de Productos Fitosanitarios en la República Argentina (Resol. ex-SAGPyA 350/99). La resolución se basa en la 5ª edición y versión definitiva del Manual sobre el desarrollo y uso de las especificaciones de la FAO en productos para la protección de cultivos, cuyo objetivo es aprobar el registro y la utilización de los fitosanitarios previa evaluación de datos científicos que demuestren que el producto es eficaz para el fin que se destina y no conlleva riesgos indebidos para la salud de personas y animales ni para el ambiente. Una vez inscriptos, un certificado de uso y comercialización habilita los productos en la República Argentina (ámbito de aplicación). Cabe destacar que el citado registro no incluye Agentes de Control Biológico (ACB), transgénicos ni macroorganismos biocontroladores (ácaros e insectos depredadores y parasitoides). Sin embargo, con el fin de reglamentar el ingreso al país de ACB para asegurar la identidad y condición sanitaria de estos y evitar un potencial riesgo para la producción vegetal, la Dirección Nacional de Protección Vegetal, particularmente la Coordinación de Bioseguridad Agroambiental, del SENASA establece un procedimiento para la importación, cuarentena y liberación de ACB (Resol. ex-SAGPyA 758/1997 y 715/1998).

Por su parte, los bioinsumos destinados a la fertilización y promoción del crecimiento ve-

getal, entre otros productos (como es el caso de los microorganismos eficaces), se inscriben en el Registro Nacional de Fertilizantes, Enmiendas, Sustratos, Acondicionadores, Protectores y Materias Primas (Resol. Senasa 264/11). El registro se realiza mediante el formulario de solicitud de inscripción de productos biológicos (Anexo V de la citada resolución).

Por lo expuesto, se evidencian importantes avances, pero aún resta mucho trabajo por efectuar el cual debe ir acompañando del apoyo de todos los sectores involucrados tanto públicos como privados. La idea es poder continuar con las tareas que permitan facilitar el desarrollo, promoción y adopción de los bioinsumos agropecuarios con el fin de contribuir a la salvaguardia del patrimonio zoofitosanitario y la calidad e inocuidad de los alimentos en un marco ambientalmente sostenible.

Consideraciones finales

El sector agrícola tiene el desafío ineludible de mantener la producción y la rentabilidad reemplazando la utilización de agroquímicos y antibióticos, para dar paso a una agronomía y una ganadería basadas en prácticas más naturales y sostenibles, teniendo para esto a la naturaleza como aliada.

Es así como el sector agropecuario debe hacer lo propio desde el lugar que ocupa, no sólo para garantizar la excelencia de los productos que comercializa, sino para resguardar el ambiente en el que lo hace. La sociedad en este punto ya no es flexible, la preservación del medio ambiente es hoy una exigencia básica. Ya no se aceptan procesos productivos sin responsabilidad social empresarial. Es necesario fortalecer las políticas a nivel mundial para adecuar la producción agrícola a sistemas de producción que sean compatibles con el cuidado del medioambiente asegurando su viabilidad para las generaciones que nos continúan. Con este abordaje, los responsables de este propósito son muchos: los productores y sus organizaciones, los investigadores que llevan a cabo su tarea en universidades e institutos, la industria de los inoculantes, el estado con sus instituciones y la sociedad toda en sus múltiples facetas.

Referencias bibliográficas

- Altieri M., Nicholls C. (2007). Biodiversidad y manejo de plagas en agroecosistemas. Icaria editorial, España.
- Alvarez V. (2003). Evolución del mercado de insumos agrícolas y su relación con las transformaciones del sector agropecuario argentino en la década de los 90 (No. E21/74). Ministerio de Economía, Buenos Aires (Argentina). Secretaría de Política Económica. Programa multisectorial de preinversión II. Préstamo BID 925 OC-AROficina de la CEPAL-ONU en Buenos Aires.
- Anlló G., Bisang R., Stubrin L. (2011). Las empresas de biotecnología en Argentina. Documento de proyecto, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) Naciones Unidas, Chile.
- Aparicio V., De Gerónimo E., Hernández Guijarro K., Pérez D., Portocarrero R., Vidal C. (2015). Los plaguicidas agregados al suelo y su destino en el ambiente. Ediciones INTA, Argentina.
- Badgley C., Perfecto I., Cassman K. (2007). Can organic agriculture feed the world? *Renewable Agriculture and Food Systems* 22 (2): 80-85
- Barg Venturini R., Queirós Armand Ugóncol F. (2007). Agricultura agroecológica - orgánica en el Uruguay. Principales conceptos, situación actual y desafíos. RAP-AI, Uruguay.
- Barto E.K., Hilker M., Müller F., Mohny B.K., Weidenhamer J.D., Rillig M.C. (2011). The fungal fast lane: common mycorrhizal networks extend bioactive zones of allelochemicals in soils. *PLoS ONE* 6: e27195.
- Baset Mia M.A., Shamsuddin Z.H. (2010). *Rhizobium* as a crop enhancer and biofertilizer for increased cereal production. *African Journal of Biotechnology* 9 (37): 6001-6009.
- Benítez Burraco A. (2005). Avances recientes en biotecnología vegetal e ingeniería genética de plantas. Reverté, España.
- Bettiol W., Rivera M., Mondino P., Montealegre J., Colmenárez Y. (2014). Control Biológico de enfermedades de plantas en América Latina y el Caribe. Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Uruguay.
- Blann K.L., Anderson J.L., Sands G.R., Vondracek B. (2009). Effects of agricultural drainage on aquatic ecosystems: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 39: 909-1001.
- Buss E., Park-Brown S. (2002). Natural products for insect pest management. En: EDIS website, <http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/IN/IN19700.pdf>, consulta: mayo 2018.
- CASAFE (Cámara de sanidad agropecuaria y fertilizantes). (2011). Guía de productos fitosanitarios 2011. CASAFE, Argentina.
- Castillo E. (2007). Sobre los derivados de la caña de azúcar. ICIDCA. En: <http://www.cubadebate.cu>, consulta: mayo 2018.
- Copping L.G. (2001). The bio pesticide manual. British Crop Protection Council, Reino Unido.
- Chalfoun N.R., Castagnaro A.P., Díaz Ricci J.C. (2011).

- Induced resistance activated by a culture filtrate derived from an avirulent pathogen as a mechanism of control of anthracnose in strawberry. *Biological Control* 58: 319-329.
- Christeson L., Sims R. (2011). Production and harvesting of microalgae for wastewater treatment, biofuels, and bioproducts. *Biotechnology Advances* 29 (6): 686-702.
- Corvalán D. (2007). Inoculante para leguminosas. Desarrollo, dinámica actual y articulación público-privada. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires* 27 (1): 11-33.
- Couto D., Zipfel C. (2016). Regulation of pattern recognition receptor signalling in plants. *Nature Reviews Immunology* 16: 537-552.
- Cuadrado B., Rubio G., Santos W. (2009). Caracterización de cepas de *Rhizobium* y *Bradyrhizobium* (con habilidad de nodulación) seleccionados de los cultivos de frijol caupi (*Vigna unguiculata*) como potenciales bioinóculos. *Revista Colombiana de Ciencias Químicas y Farmacéuticas* 38 (1): 78-104.
- Dayan F., Duke S. (2014). Natural compounds as next-generation herbicides. *Plant Physiology* 166: 1090-1105.
- Dixon R. (2001). Natural products and plant disease resistance. *Nature* 411: 843-847.
- Duke S. (2018). Pest Management Science in 2017. *Pest Management Science* 74 (1): 7-8.
- FAO (1996). Enseñanzas de la revolución verde: hacia una nueva revolución verde. En: <http://www.fao.org/docrep/003/w2612s/w2612s06.htm>, consulta: mayo 2018.
- Filippone M.P., Díaz Ricci J.C., Mamaní de Marchese A.I., Fariás R.N., Castagnaro A.P. (1999). Isolation and purification of a 316 Da preformed compound from strawberry (*Fragaria ananassa*) leaves active against plant pathogens. *FEBS Letters* 459: 115-118.
- Filippone M.P., Díaz-Ricci J.C., Castagnaro A.P., Fariás R. (2001). Effect of fragarin on the cytoplasmic membrane of the phytopathogen *Clavibacter michiganensis*. *Molecular Plant Microbe Interactions* 14 (7): 925-928.
- Firbank L.G., Petit S., Smart S., Blain A., Fuller R.J. (2008). Assessing the impacts of agricultural intensification on biodiversity: a British perspective. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 363: 777-787.
- Foley J.A., DeFries R., Asner G., Barford C., Bonan G., Carpenter S.R., Chapin F.S., Coe M.T., Daily G.C., Gibbs H.K., Helkowski J.H., Holloway T., Howard E.A., Kucharik C.J., Monfreda C., Patz J.A., Prentice I.C., Ramankutty N., Snyder P.K. (2005). Global consequences of land use. *Science* 309: 570-574.
- Foley J.A., Ramankutty N., Brauman K.A., Cassidy E.S., Gerber J.S., Johnston M., Mueller N.D., O'Connell C., Ray D.K., West P.C., Balzer C., Bennett E.M., Carpenter S.R., Hill J., Monfreda C., Polasky S., Rockstrom J., Sheehan J., Siebert S., Tilman D., Zaks D.P.M. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature* 478: 337-342.
- Formento N. (2014). Primer fungicida biológico para semillas de Trigo. INTA. En: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-fungicida_biologico_para_semillas_de_trigo.pdf, consulta: mayo 2018.
- García Olmedo F. (1998). Tercera revolución verde: Plantas con Luz Propia. Debate, España.
- Gašić S, Tanović B. (2013). Biopesticide formulations, possibility of application and future trends. *Pesticides and Phytomedicine* 28 (2): 97-102.
- Geiger F., Bengtsson J., Berendse F., Weisser W.W., Emmerson M., Morales M.B., Ceryngier P., Liira J., Tscharrntke T., Winqvist C., Eggers S., Bommarco R., Pär T., Bretagnolle V., Plantegenest M., Clement L.W., Dennis C., Palmer C., Oñate J.J., Guerrero I., Hawro V., Aavik T., Thies C., Flohre A., Hänke S., Fischer C., Goedhart P.W., Inchausti P. (2010). Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic and Applied Ecology* 11: 97-10.
- Georghiou G. (1990). Descripción general de la resistencia a los insecticidas. *ACS Symposium Series* 421: 18-41.
- Gerwick B.C., Sparks T.C. (2014). Natural products for pest control: an analysis of their role, value and future. *Pest Management Science* 70 (8): 1169-85.
- Glick B. (1995). The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Canadian Journal of Microbiology* 41: 109-117.
- Grennan A.K. (2006). Plant response to bacterial pathogens. Overlap between innate and gene-for-gene defense response. *Plant Physiology* 142 (3): 809-811.
- Gupta S., Dikshit A.K. (2010). Biopesticides: An ecofriendly approach for pest control. *Journal of Biopesticides* 3 (1): 186-188.
- Hays C.W. (2000). The United States Army and malaria control in World War II. *Parassitologia* 42 (1-2): 47-52.
- Heil M., Karban R. (2010). Explaining evolution of plant communication by airborne signals. *Trends in Ecology and Evolution* 25: 137-144.
- Hernández González M., Jiménez Garcés C., Jiménez Albarrán F., Arceo Guzmán M. (2007). Caracterización de las intoxicaciones agudas por plaguicidas: perfil ocupacional y conductas de uso de agroquímicos en una zona agrícola del Estado de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 23: 159-167.
- Holopainen J. (2004). Multiple functions of inducible plant volatiles. *Trends in Plant Science* 9: 529-533.
- Itirri M., Faoro F. (2009). Chemical Diversity and Defense Metabolism: How plants cope with pathogens and ozone pollution. *International Journal of Molecular Science* 10 (8): 3371-3399.
- Isman M.B. (2006). Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increas-

- ingly regulated world. *Annual Review of Entomology* 51: 45-66.
- Jenkins T., Bovi A., Edwards R. (2011). Plants: biofactories for a sustainable future?. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 369 (1942): 1826-1839.
- Kloepper J., Leong J., Teintze M., Schroth M. (1980). Enhanced plant growth by siderophores produced by plant growth-promoting rhizobacteria. *Nature* 286: 885-886.
- Leclère V., Béchet M., Adam A., Guez J., Wathelet B., Ongena M., Thonart P., Gancel F., Chollet-Imbert M., Jacques P. (2005). Mycosubtilin overproduction by *Bacillus subtilis* BBG100 enhances the organism's antagonistic and biocontrol activities. *Applied Environmental Microbiology* 71 (8): 4577-84.
- Leibbrandt N., Snyman S. (2003). Stability of gene expression and agronomic performance of a transgenic herbicide-resistant sugarcane line in South Africa. *Crop Science* 43 (2): 671-677.
- Letourneau D.K., Armbrrecht I., Rivera B.S., Lerma J.M., Carmona E.J., Daza M.C., Escobar S., Galindo V., Gutiérrez C., López S.D., Mejía J.L., Rangel A. M.A., Rangel J.H., Rivera L., Saavedra C.A., Torres A.M., Trujillo A.R. (2011). Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review. *Ecological Applications* 21 (1): 9-21.
- Llorens E., García-Agustín P., Apeña L. (2017). Advances in induced resistance by natural compounds: towards new options for woody crop protection. *Scientia Agrícola* 74 (1): 90-100.
- Logan B., Rabaey K. (2012). Conversion of wastes into bioelectricity and chemicals by using microbial electrochemical technologies. *Science* 337 (6095): 686-690.
- Ludwig-Müller J. (2015). Bacteria and fungi controlling plant growth by manipulating auxin: balance between development and defense. *Journal of Plant Physiology* 172: 4-12.
- Lugtenberg B., Kamilova F. (2009). Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annual Review Microbiology* 63: 541-56.
- Luna E., Pastor V., Robert J., Flors V., Mauch-Mani B., Ton J. (2011). Callose deposition: a multifaceted plant defense response. *Molecular Plant Microbe Interactions* 24 (2): 183-93.
- Maget-Dana R., Peypoux F. (1994). Iturins, a special class of pore-forming lipopeptides: biological and physicochemical properties. *Toxicology* 87 (1-3): 151-74.
- Mamani A., Filippone M.P., Grellet C., Welin B., Castagnaro A.P., Díaz Ricci J.C. (2012). Pathogen-induced accumulation of an ellagitannin elicits the plant defense response. *Molecular Plant Microbe Interactions* 25: 1430-1439.
- Mandryk M., Kolomiets E., Dey E. (2007). Characterization of antimicrobial compounds produced by *Pseudomonas aurantiaca* S-1. *Polish Journal of Microbiology* 56 (4): 245-250.
- Martínez E. (2016). Bioproductos en Chile. En: *Revista Red Agrícola*. <http://www.redagricola.com/reportajes/tecnologia/bioproductos-en-chile>, consulta: mayo 2018.
- Mazid S. (2011). A review on the use of biopesticides in insect pest management. *International Journal of Science and Advanced Technology* 1 (7): 169-178.
- Mazur B., Krebbers E., Tingey S. (1999). Gene discovery and product development for grain quality traits. *Science* 285 (5426): 372-375.
- Meena P.D., Gour R.B., Gupta J.C., Singh H.K., Awasthi R.P., Netam R.S., Godika S., Sandhu P.S., Prasad R., Rath A.S., Rai D., Thomas L., Patel G.A., Chattopadhyay C. (2013). Non-chemical agents provide tenable, eco-friendly alternatives for the management of the major diseases devastating Indian mustard (*Brassica juncea*) in India. *Crop Protection* 53: 169-174.
- Mishra A., Sharma K., Misra R. (2011). Elicitor recognition, signal transduction and induced resistance in plants. *Journal of Plant Interactions* 7 (2): 95-120.
- Nastis S.A., Michailidis A., Mattas K. (2013). Crop biodiversity repercussions of subsidized organic farming. *Land Use Policy* 32: 23-26.
- Niemann H., Kues W. (2003). Application of transgenesis in livestock for agriculture and biomedicine. *Animal Reproduction Science* 79 (3-4): 291-317.
- Ondarza M. (2017). Biopesticidas: tipos y aplicaciones en el control de plagas agrícolas. *Agroproductividad* 10 (3): 31-36.
- Osborn A. (1996). Preformed antimicrobial compounds and plant defense against fungal attack. *The Plant Cell* 8: 1821-1831.
- Paulert R., Talamini V., Cassolato J.E.F., Duarte M.E.R., Nosedá M., Smania Júnior A., Stadnik M.J. (2009). Effects of sulfated polysaccharide and alcoholic extracts from Green seaweed *Ulva fasciata* on anthracnose severity and growth of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Plant Diseases and Protection* 116: 63-270.
- Perelló A., Dal Bello G. (2011). Suppression of tan spot and plant growth promotion of wheat by synthetic and biological inducers under field conditions. *Annals of Applied Biology* 158: 267-274.
- Pérez Ortega E., De la Noval B., Martínez Coca B., Torres de la Noval W., Medina Carmona A., Hernández A., León O. (2015). Induction of defense mechanisms in mycorrhized tomato plants against the attack of *Oidio psistaurica* (Lev.) Salm. *Cultivos Tropicales* 36: 98-106.
- Pırlak L., Köse L. (2009). Effects of plant growth promoting rhizobacteria on yield and some fruit properties of strawberry. *Journal of Plant Nutrition* 32 (7): 1173-1184.
- Ramírez Gómez M., Rodríguez A. (2008). Plant de-

- fense mechanisms and responses in the arbuscular-mycorrhizal symbiosis: a review. *Revista Colombiana de Biotecnología* 14 (1): 271-284.
- Raskin I., Ribnicky D., Komarnytsky S., Ilic N., Poulev A., Borisjuk N., Brinker A., Moreno D., Ripoll C., Yakoby N., O'Neal J., Cornwell T., Pastor I., Fridlender B. (2002). Plants and human health in the twenty-first century. *Trends in Biotechnology* 20 (2): 522-531.
- Relyea R.A. (2005). The impact of insecticides and herbicides on the biodiversity and productivity of aquatic communities. *Ecological Applications* 15: 618-627.
- Reynders L., Vlassa K. (1982). Use of *Azospirillum brasilense* as biofertilizer in intensive wheat cropping. *Plant and Soil* 66 (2): 217-223.
- Rifkin J. (2011). The third industrial revolution: how lateral power is transforming energy, the economy, and the world. Palgrave Macmillan, EEUU.
- Riveros Angarita A.S. (2001). Moléculas activadoras de la inducción de resistencia, incorporadas en programas de agricultura sostenible. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)* 61: 4-11.
- Ruepert C., Castillo L.E., Bravo V., Fallas J. (2005). Vulnerabilidad de las aguas subterráneas a la contaminación por plaguicidas en Costa Rica. Informe IRETUNA. Heredia, Costa Rica.
- Sarandón S.J. (2002). Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable. E.C.A. Ediciones Científicas Americanas, Argentina.
- Sharma S., Malik P. (2012). Biopesticides: Types and Applications. *International Journal of Advances in Pharmacy, Biology and Chemistry* 1 (4): 508-515.
- Shizuo A., Uematsu S., Takeuchi O. (2006). Pathogen Recognition and Innate Immunity. *Cell* 124 (4): 783-801.
- Shuping D., Eloff J. (2017). The use of plants to protect plants and food against fungal pathogens: a review. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternatives Medicine*. 14 (4): 120-127.
- Sparks T., Nauen R. (2015). IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 121: 122-128.
- Starbait Nudelman M. (2011). Uso sustentable de agroquímicos. Debates a nivel nacional e internacional. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria (ANAV), Argentina. Pp. 471-482.
- Sticklen M. (2008). Plant genetic engineering for biofuel production: towards affordable cellulosic ethanol. *Nature Reviews Genetics* 9: 433-443.
- Thakker J.N., Patel P., Dhandhukia P.C. (2011). Induction of defense-related enzymes in susceptible variety of banana: role of *Fusarium*-derived elicitors. *Archives of Phytopathology and Plant Protection* 44: 1976-1984.
- Travers-Martin N., Müller C. (2008). Specificity of induction responses in *Sinapis alba* L. *Plant Signaling and Behavior* 3 (5): 311-313.
- Tripathi R.D., Dwivedi S., Shukla M.K., Mishra S., Srivastava S., Singh R., Rai U.N., Gupta D.K. (2008). Role of blue green algae biofertilizer in ameliorating the nitrogen demand and fly-ash stress to the growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.) plants. *Chemosphere* 70 (10): 1919-1929.
- Vara-Sánchez I., Cuéllar-Padilla M. (2013). Biodiversidad cultivada: una cuestión de coevolución y transdisciplinariedad. *Ecosistemas* 22 (1): 5-9.
- Vessey J. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil* 255 (2): 571-586.
- Villaamil Lepori E., Bovi Mitre G., Nassetta M. (2013). Situación actual de la contaminación por plaguicidas en Argentina. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 29: 25-43.
- Voigt C. (2014). Callose-mediated resistance to pathogenic intruders in plant defense-related papillae. *Frontiers in Plant Science* 5: 168.
- Von Rad U., Mueller M.J., Durner J. (2005). Evaluation of natural and synthetic stimulants of plant immunity by microarray technology. *New Phytologist* 165 (1): 191-202.
- Wiesel L., Newton A.C., Elliot I., Boooty D., Gilroy E.M., Birch P.J.R., Hein I. (2014). Molecular effects of resistance elicitors from biological origin and their potencial for crop protection. *Frontiers in Plant Science* 5: 655.
- Zaker M. (2016). Natural plant products as eco-friendly fungicides for plant diseases control. A Review. *The Agriculturists* 14 (1): 134-141.
- Zarrili A. (2008). El proceso de agriculturización en las regiones extrapampeanas argentinas: insostenibilidad y límites de un modelo de transformación. La provincia del Chaco (1980-2006). XII Congreso de Historia Agraria Argentina, 13-15 de marzo, Córdoba, Argentina.
- Zhao F., Shewry P. (2011). Recent developments in modifying crops and agronomic practice to improve human health. *Food Policy* 36: S94-S101.